



TITLE:

# インパルス列とエネルギー平衡を用いた弾塑性構造物の地震時極限外乱法( Abstract\_要旨 )

AUTHOR(S):

小島, 紘太郎

---

CITATION:

小島, 紘太郎. インパルス列とエネルギー平衡を用いた弾塑性構造物の地震時極限外乱法. 京都大学, 2018, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2018-03-26

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k21064>

RIGHT:

京都大学	博士（工学）	氏名	小島 紘太郎
論文題目	インパルス列とエネルギー平衡を用いた弾塑性構造物の地震時極限外乱法		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>建築構造物の耐震設計において考慮すべき地震動には、断層近傍で発生するパルス性の地震動や長周期・長時間地震動などがあり、特徴的な性質を有している。これらの地震動に対して弾塑性応答を許容して構造物を安全に設計するには、そのような地震動に対して最大応答（極限応答）を示す状態を把握する必要がある。本論文は、このような特徴的な地震動をインパルス列に置換し、エネルギー平衡の考え方を有効に用いて極限応答を単純な形式で誘導する方法を提案している。本論文では、扱う地震動のタイプにより、PART 1-4 に大別している。各章の要旨を以下に示す。</p> <p>第 1 章「序」では、本研究の背景と目的について述べた後に、既往の研究の調査を行い、本論文との関係について論じている。さらに、本論文の構成と概要を示している。</p> <p>第 2 章では、断層近傍で発生するパルス性の地震動や長周期・長時間地震動の主要部分を 1 サイクル正弦波、1.5 サイクル疑似正弦波あるいは長時間正弦波に置き換えた上で、それらをさらにダブルインパルス、トリプルインパルスあるいはマルチインパルスに置換する方法を示している。本論文では、両者の加速度波形のフーリエ振幅の最大値を等価にすることで、インパルスの大きさを決定する方法を提案している。</p> <p>第 3-8 章はダブルインパルスに対する理論であり、PART 1 を構成している。</p> <p>第 3 章では、極限的ダブルインパルスに対する粘性減衰を有する線形弾性 1 自由度系の極限応答の閉形表現を誘導し、入力エネルギーの上限値を求めている。線形弾性モデルでは、地震入力エネルギーを振動数領域で定式化することが可能であり、ダブルインパルスの時間間隔をパラメトリックに変化させることにより、地震入力エネルギーを最大にするような極限的ダブルインパルスを見出すことが可能であることを明らかにしている。</p> <p>第 4 章では、断層面平行方向に生じる断層近傍地震動をダブルインパルスでモデル化し、そのような入力に対する完全弾塑性復元力特性を有する非減衰 1 自由度系の弾塑性極限応答の最大値の閉形表現を導出している。ダブルインパルスの第 1 インパルス作用直後には運動エネルギーが発生し、そのエネルギーを最大変形時のひずみエネルギーと消費エネルギーの総和と等置することにより、第 1 インパルス後の最大変形が求められることを明らかにしている。また、第 2 インパルスの極限的な入力タイミングはモデルの復元力が 0 となる時であることを明らかにし、第 2 インパルス後の最大変形も第 1 インパルス後と同様のエネルギー平衡則により誘導可能であることを明らかにしている。さらに、記録地震動に対する最大応答と誘導した極限応答を比較し、提案手法は良好な精度で断層面平行方向に生じる断層近傍地震動に対する極限応答を予測可能であることを示している。ただし、記録地震動に対する検討では、地震動を固定し、その地震動に対して極限的な応答を示す構造モデルを求めて、極限的ダブルインパルスに対する応答と記録地震動に対する応答の比較を行っている。</p> <p>第 5 章では、地盤との動的相互作用効果を考慮した完全弾塑性非減衰 1 自由度系の断層近傍地震動に対する極限応答の閉形表現を誘導している。地盤ばねで支持された 1 自由度系を、直列ばねモデルに基づき 1 自由度系に縮約することにより、4 章の理論を直接利用している。</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	小島 紘太郎
<p>その閉形表現から、入力レベルが小さい場合には剛な地盤ほど、また入力レベルが大きい場合には柔な地盤ほど極限応答が大きくなることを明らかにしている。</p> <p>第 6 章では、断層近傍地震動を受ける完全弾塑性復元力特性を有する粘性減衰 1 自由度系の極限応答の閉形表現を誘導している。減衰力-変位関係に 2 次関数近似を導入することにより、極限応答が精度よく導出可能であることを示している。</p> <p>第 7 章では、断層近傍地震動に対するノーマルバイリニア型復元力特性を有する非減衰 1 自由度系の弾塑性極限応答の閉形表現を誘導している。ここでは、4 章のエネルギー平衡等の基本的な考え方を利用している。しかしながら、完全弾塑性復元力特性とは異なり、降伏後の復元力の変位依存性等に起因して生じる困難点を克服している。</p> <p>第 8 章では、断層近傍地震動に対する弾塑性構造物の倒壊限界地震動レベルの閉形表現を、入力のインパルス置換とエネルギー平衡則から誘導している。それを用いて、復元力特性における降伏後の勾配と入力レベルに依存して数個のタイプの倒壊限界が存在することを明らかにしている。また、記録地震動による解析との比較から、本理論は良好な精度を有することを明らかにしている。</p> <p>第 9 章はトリプルインパルスに対する理論であり、PART 2 を構成している。すなわち、断層面直交方向に生じる断層近傍地震動の主要部分をトリプルインパルスでモデル化し、そのような入力に対する完全弾塑性復元力特性を有する非減衰 1 自由度系の弾塑性極限応答の閉形表現を第 4 章の方法と類似の方法で誘導している。さらに、第 4 章のダブルインパルスに対する極限応答との比較を行い、ダブルインパルスとトリプルインパルスによる極限応答の関係を明らかにしている。</p> <p>第 10-11 章はマルチインパルスに対する理論であり、PART 3 を構成している。</p> <p>第 10 章では、長周期・長時間地震動をマルチインパルスに置換し、そのような入力に対する完全弾塑性復元力特性を有する非減衰 1 自由度系の極限入力と弾塑性極限応答の閉形表現を誘導している。極限応答を与える入力のインパルス作用タイミングはモデルの復元力が 0 の時であることを明らかにし、第 2 インパルスと第 3 インパルスの間に生じる塑性変形から、マルチインパルス作用時の定常的な塑性変形が予測可能であることを明らかにしている。</p> <p>第 11 章では、長周期・長時間地震動に対するノーマルバイリニア型復元力特性を有する非減衰 1 自由度系の弾塑性極限応答の閉形表現を誘導している。ここでは、10 章のエネルギー平衡等の基本的な考え方を利用している。しかしながら、完全弾塑性復元力特性とは異なり、降伏後の第 2 剛性比が塑性変形量や残留変形に及ぼす影響などを明らかにしている。</p> <p>第 12 章は大振幅地震動を複数回受ける場合の理論であり、PART 4 を構成している。すなわち、短時間に連続激震を受ける構造物の倒壊防止のための強度割増係数の簡易評価法を示している。具体的には、地震動による影響をシングルインパルスに置換することにより、エネルギー平衡則から強度割増係数が簡易的に得られることを明らかにしている。</p> <p>第 13 章「結論」では、本論文で得られた成果を要約し、今後の課題を述べている。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、断層近傍で発生するパルス性の地震動や長周期・長時間地震動などの特徴的な地震動の主要部分をインパルス列に置換し、エネルギー平衡の考え方を有効に用いて弾塑性構造物の極限応答を単純な形式で誘導する方法を提案したものである。極限応答とは、インパルス列の時間間隔を変動させることにより最大化された場合の応答として定義される。得られた主な成果は次の通りである。

1. 断層近傍地震動の主要部分を1サイクル正弦波あるいは1.5サイクル疑似正弦波に置き換えた上で、それらをさらにダブルインパルスあるいはトリプルインパルスに置換し、それらの入力に対する完全弾塑性復元力特性を有する非減衰1自由度系および減衰1自由度系の弾塑性極限応答の閉形表現を誘導した。また、極限応答を与える入力のタイミングは、構造物モデルの復元力が0となる点であることを明らかにした。さらに、記録地震動に対する時刻歴応答解析結果との比較により、得られた表現は、良好な精度を有することを明らかにした。ただし、記録地震動に対する検討では、地震動を固定して極限的な応答を示す構造モデルを求め、極限的インパルスに対する応答と記録地震動に対する応答の比較を行っている。
2. 地盤との動的相互作用効果を考慮した完全弾塑性復元力特性を有する非減衰1自由度系の断層近傍地震動に対する極限応答の閉形表現を誘導した。その閉形表現から、入力レベルが小さい場合には剛な地盤ほど、また入力レベルが大きい場合には柔な地盤ほど極限応答が大きくなることを明らかにした。
3. 断層近傍地震動に対するノーマルバイリニア型弾塑性特性を有する非減衰1自由度系の倒壊限界地震動レベルの閉形表現を誘導し、降伏後の勾配と入力レベルに依存して数個のタイプの倒壊限界が存在することを明らかにした。
4. 長周期・長時間地震動をマルチインパルスに置換し、その入力に対する完全弾塑性復元力特性を有する非減衰1自由度系の弾塑性極限応答の閉形表現を誘導した。ダブルインパルスの場合と同様に、極限応答を与える入力のタイミングは、構造物モデルの復元力が0となる点であることを明らかにした。さらにノーマルバイリニア系に対しても同様の閉形表現を誘導することが可能であることと、正の降伏後剛性が存在すれば残留変形が存在しないことを明らかにした。

以上の内容を要約すると、本論文は、断層近傍で発生するパルス性の地震動や長周期・長時間地震動などの特徴的な地震動に対する弾塑性構造物の極限応答を単純な形式で誘導する方法を提案したものであり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士(工学)の学位論文として価値あるものと認める。

また、平成29年12月28日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。